

UNIANDES EPISTEME: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación.  
Radicelli García, C.D., Pomboza Floril, M. del R., Pomboza Floril, C.A.  
Vol. (3). Núm. (3) 2016

## Propuesta de capa física y MAC de un nuevo estándar de TDT (DVB-RCT2)

## Proposed physical and MAC layer of a new standard of TDT (DVB-RCT2)

Ciro Diego Radicelli García  
[cradicelli@unach.edu.ec](mailto:cradicelli@unach.edu.ec)

UNACH

Margarita del Rocío Pomboza Floril  
[margaritapomboza@unach.edu.ec](mailto:margaritapomboza@unach.edu.ec)

UNACH

Cristina Alexandra Pomboza Floril  
[cpomboza@epoch.edu.ec](mailto:cpomboza@epoch.edu.ec)

ESPOCH

### RESUMEN

Este artículo propone el diseño de capa física y MAC de un nuevo estándar de televisión digital terrestre (TDT) de segunda generación con canal de retorno inalámbrico denominado DVB-RCT2, particularizando en la capa física; (i) los modos de transmisión, (ii) las estructuras de ráfagas (BS1, BS2, BS3), y (iii) los esquemas de acceso al medio (MAS) para los diferentes tamaños de FFT; y en la capa MAC (i) los modos de acceso, todo esto considerando un ancho de banda de 6 MHz (utilizado en Latinoamérica), para la obtención de los datos presentados en esta investigación se ha emulado las condiciones del canal RCT2 en un laboratorio de radiodifusión.

**PALABRAS CLAVE:** TDT, Capa-física, Capa-MAC, DVB-RCT2.

### ABSTRACT

This paper proposes the design of physical and MAC layer of a new second-generation digital terrestrial television (TDT) wireless return channel called DVB-RCT2, specifying on the physical layer; (i) transmission modes, (ii) the burst structures (BS1, BS2, BS3), and (iii) the medium access schemes (MAS) for different FFT sizes; and the MAC layer (i) access modes, all this considering a bandwidth of 6 MHz (used in Latin America), to obtain the data presented in this research has been emulated RCT2 channel conditions in a broadcasting laboratory.

**KEYWORDS:** TDT, Physical-layer, MAC-layer, DVB-RCT2

### INTRODUCCIÓN

Dado que Internet amplía el acceso a la información, tiene un gran potencial para mejorar la educación, la ciencia, la cultura, la comunicación, y la información; incluidos también los principios de los derechos humanos como la democracia, la libertad de expresión y el acceso al saber (UNESCO, 2011). En este sentido la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI), celebrada en Ginebra (2003) y Túnez (2005), trató una amplia gama de temas relacionados con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) para el desarrollo, definiendo diez objetivos que se enuncian en el Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Telecomunicaciones (ITU, 2010) además de diversas recomendaciones para el 2015, destinados a fomentar la creación de una sociedad de la información inclusiva.

Siguiendo esta línea, el gobierno del Ecuador crea inicialmente el Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013 y lo reedita para el período 2013-2017, contando como uno de

**Recibido:** Mayo 2016. **Aceptado:** Julio 2016  
Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES

sus principales desafíos la reducción de la brecha digital existente entre ciudades y zonas rurales, así como entre hombres y mujeres de diferentes edades, razas, niveles de educación y condiciones económicas mediante el uso de las TICs, generando igualdad de oportunidades y fomentando la participación ciudadana.

Sin embargo, los datos disponibles indican que tres cuartas partes de la población mundial no tienen todavía acceso a Internet (ITU, 2010). Y aunque el porcentaje de penetración de este servicio en América del Sur es del 48,2%, el problema persiste. En Ecuador por ejemplo con un porcentaje de penetración del 43,8% solamente el 1,3% de la población cuenta con el servicio de conectividad a Internet (Miniwatts marketing group, 2012). En lo referente a acceso a Internet en zonas rurales, concretamente en los países en desarrollo de América Latina, la situación es peor ya que la población rural o no tiene acceso a esta tecnología, o lo hace desde emplazamientos públicos en muchas ocasiones con una muy baja velocidad de conexión, lo que demuestra que aún queda mucho por hacer para llevar Internet a este tipo de zonas.

Si bien el acceso a Internet es limitado en el mundo en desarrollo, no sucede lo mismo con la tecnología móvil, considerada hoy en día como la TIC más expandida, debido a la gran penetración de teléfonos móviles y de servicios 3G e incluso 4G, es así que en América Latina la penetración de dispositivos móviles es del 130% y en Ecuador del 105% y va en aumento (Rojas, 2012). Por otro lado, la TV suele ser más popular y accesible que el Internet, la telefonía móvil, e incluso que la radio en muchos países y regiones en desarrollo, llegando a tener tasas de superiores al 90% (ITU, 2010), sin embargo uno de los inconvenientes que presenta este servicio es que las bandas UHF/VHF utilizados tienen un espectro muy congestionado en muchos países latinoamericanos, lo que es en un problema para la introducción de nuevos servicios.

Por lo anteriormente mencionado, se lleva a cabo el proceso de transición que implica el paso de la televisión analógica a la digital (apagón analógico), con el objetivo de liberar frecuencias. Para posteriormente, con el llamado dividendo digital, asignar esas frecuencias de televisión liberadas (parte alta de la banda UHF), para brindar tanto servicios móviles 4G como servicios de TDT. La cantidad de espectro liberada, depende entre otras cosas de particularidades tales como la geografía y topografía del país, de la utilización del espectro en los países vecinos, y de la tecnología de TDT que sustituirá a los servicios analógicos, mismos que convivirán en un principio con las emisiones de la señal digital, en una etapa conocida como Simulcast, todo esto hará que el tamaño de dicho dividendo cambie de una región y/o país a otro (Kholod, A.; Lewis, J, 2010).

Es así por ejemplo que en Colombia ya se ha producido este dividendo (banda 700 MHz) y la subasta del espectro 4G está pendiente (Pinzón, 2013), mientras que en Ecuador se dispuso que el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), sea el organismo que defina las bandas para la implementación de la TDT y que la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL), efectúe un análisis para ocupar el rango de 482-512 MHz (CONATEL, 2012). Además la situación con respecto al manejo del espectro radioeléctrico se detalla en (CONARTEL, 2011) y (Cruz, et al., 2011).

Cabe destacar que para las emisiones de TDT los países de la región han adoptado en su mayoría el estándar japonés-brasileño ISDB-Tb (Integrated Services Digital

Broadcasting – Terrestrial Brasil), a excepción de Panamá y Colombia que utilizan las normas europeas DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) y DVB-T2 (Terrestrial 2nd Generation) respectivamente, y los países de América Central que usan la norteamericana ATSC (Advanced Television System Committee).

## **DESARROLLO**

### **Tecnologías para proporcionar conectividad a Internet en zonas rurales**

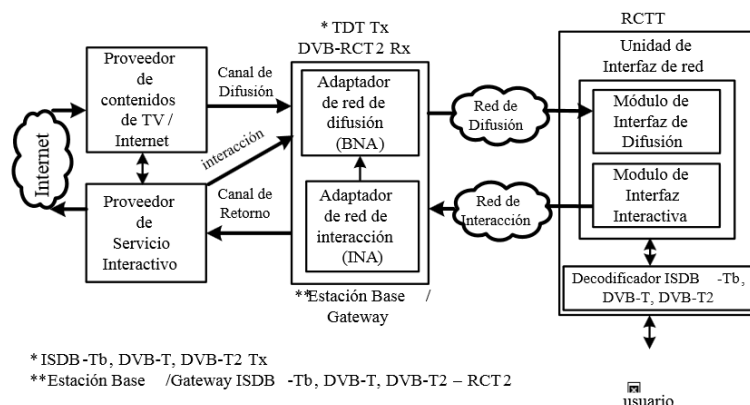
En lo referente a las alternativas de conexión para entornos rurales, la tecnología a elegir depende de la identificación de los requerimientos de la población, además de poder cubrir grandes áreas, tener bajo coste y ser de fácil implementación, y para esto se debe tomar en cuenta a parte de los servicios que se desea proveer, la topología de la red y las características concretas del escenario a ser considerado.

Aunque las alternativas de conectividad son varias, la provisión de servicios de telecomunicaciones para áreas rurales es significativamente más costosa que en áreas urbanas, debido a que hay que cubrir zonas extensas y la densidad de población es baja. Es por esto que tecnologías mediante cable o DSL no están físicamente disponibles, o si lo están la velocidad y cobertura de las mismas no proveen las mejores características, se tiene así mismo la conectividad mediante fibra óptica que aunque mejora tanto velocidad como cobertura, es más costosa y por lo tanto su implementación no es viable. En lugar entonces de estas soluciones se podrían utilizar opciones de conectividad inalámbrica como puede ser el costoso enlace satelital, las tecnologías celulares de última generación 4G LTE, no disponibles en todos los países de América Latina, por lo que su despliegue no podría ser suficiente para garantizar el acceso en zonas con baja densidad poblacional; la tecnología por microondas WIMAX que puede verse afectada por obstáculos como montañas, o factores climatológicos (Ruiz, 2006); y ahora las redes de TDT puesto que ofrecen un gran porcentaje de penetración, y costos de despliegue más baratos, debido a que podrían reutilizar la infraestructura existente de la TV analógica y/o digital, con lo que además se podría aumentar la eficiencia de transmisión, y maximizar la cobertura en condiciones adversas. Bajo estas condiciones, las redes de TDT se convierten en una interesante alternativa para proporcionar el servicio de conexión a Internet, debido a que podrían proveer un uso eficiente del espectro radioeléctrico y generar significativos ahorros de infraestructura.

Bajo este contexto, una posible solución para lograr acceso universal a Internet en zonas rurales de Latinoamérica sería la utilización de un estándar de TDT con retorno inalámbrico, mediante el cual se podría aumentar la penetración a Internet y disminuir los costos de implementación, puesto que llegaría a todos los hogares que tengan acceso a la TDT.

Existe una opción en el estándar europeo, DVB-RCT (Return Channel Terrestrial) que proporciona un canal de retorno inalámbrico para la tecnología de TDT DVB-T (Fraile, F.; Gómez, D, 2004). Sin embargo esta nunca llegó a desplegarse comercialmente debido al deficiente apoyo de la industria, a la oposición de los operadores de telefonía móvil, y a que se necesitaban cambios en la regulación del uso del espectro de radiodifusión, que actualmente se están dando en América Latina con la liberación del espectro radioeléctrico.

En este artículo se propone mejorar el canal de retorno UL (uplink), a nivel de capa física y MAC desarrollando una segunda-generación del estándar DVB-RCT, llamada DVB-RCT2 (Return Channel Terrestrial 2nd Generation), para lo cual se utilizará los principios de DVB-RCT y se aprovechará los avances tecnológicos de DVB-T2 para aplicarlos en el UL. En este sentido DVB-RCT2 podrá ser utilizado en DL con cualquier tecnología de TDT presente en América Latina (ISDB-Tb, DVB-T o DVB-T2) si se usan el transmisor y decodificador adecuados, mientras que para el UL se utilizaría la propia tecnología DVB-RCT2. En la figura 1 se ilustra la arquitectura RCT2.



**Figura 1:** Arquitectura propuesta del estándar DVB-RCT2 para proporcionar conectividad a Internet en zonas rurales de América Latina

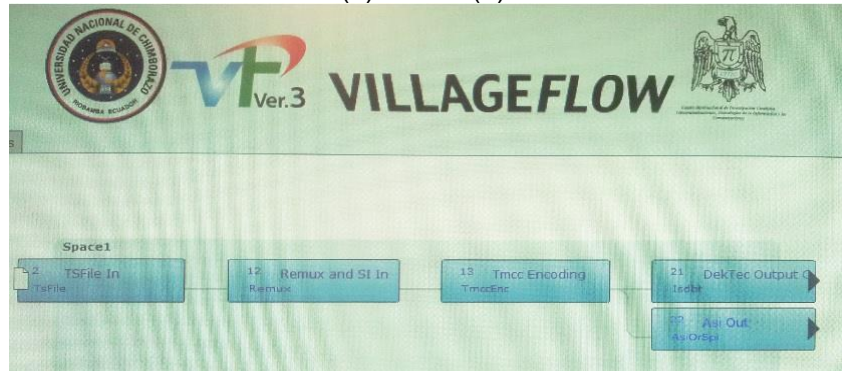
**Fuente:** elaboración propia

### Escenario de simulación

Para obtener los datos de la tecnología DVB-RCT2 propuesta, se ha emulado en el laboratorio de TDT de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) las características del canal RCT2, utilizando la plataforma VillageFlow trabajando con una tarjeta DTA115, la misma que permite generar flujos de transporte (TS) multiestándar, para el caso específico de esta investigación se ha generado el TS para DVB-RCT2.



**Figura 2:** Escenario de pruebas  
**Fuente:** Laboratorio TDT UNACH



**Figura 3:** Configuración de VillageFlow para generar el TS de DVB-RCT2  
**Fuente:** VillageFlow

### Tecnologías de TDT para enlace ascendente

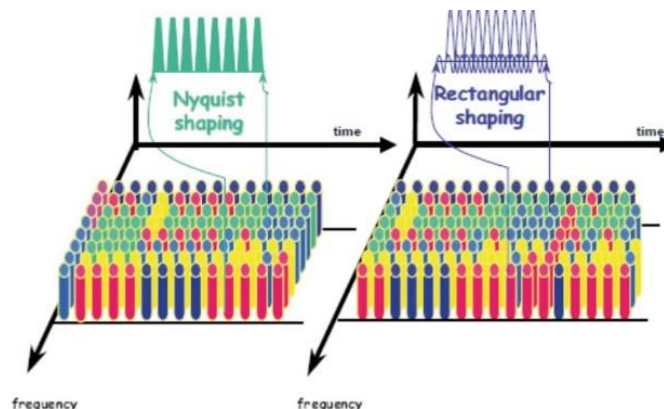
#### Capa física DVB-RCT. Generalidades

Para proveer un canal de retorno inalámbrico compartido para DVB-T, DVB-RCT usa un canal de radiofrecuencia dedicado y lo organiza para permitir el acceso concurrente desde muchos terminales de usuario individuales (RCTTs). El método usado para organizar dicho canal de retorno es dividiéndolo en dominios de tiempo y frecuencia, obteniendo de esta manera una malla de ranuras tiempo/frecuencia, en donde cada ranura es asignable a un RCTT.

Para la organización del canal de retorno a nivel de capa física, el estándar provee dos conformados de señal; con el fin de dotar de inmunidad contra la interferencia entre portadora (ICI) y la interferencia entre símbolo (ISI) (ETSI, 2002).

- **Conformado de Nyquist (Nyquist shaping).**- usa filtrado de Nyquist en tiempo sobre cada portadora, sirve también para brindar inmunidad contra jammers.
- **Conformado Rectangular (Rectangular shaping).**- usa una disposición ortogonal de las portadoras y un intervalo de guarda (GI) con valores de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 entre los símbolos modulados, sirve además para combatir los efectos de la propagación multicamino.

El uso de los conformados es estrictamente exclusivo, es decir que estos no pueden ser utilizados al mismo tiempo en el canal de retorno. En la figura 4 se muestran los dos tipos de conformados.



**Figura 4:** Organización del canal de radiofrecuencia de DVB-RCT  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

Dependiendo del modo de transmisión usado, la señal total en el aire se compone de un conjunto de portadoras (1K o 2K) adyacentes moduladas sincrónicamente por el RCTT activo. El proceso MAC dentro del INA en la estación base, administra la asignación de portadoras a los RCTTs.

Además el estándar DVB-RCT define dos tipos de tramas de transmisión (Transmission Frame - TF), las mismas que proveen las características necesarias para permitir la demodulación en la estación base.

- **TF1.-** se compone de un conjunto de símbolos OFDM, que contienen varios Subcanales de Datos, un Símbolo Nulo y una serie de Símbolos de Sincronización/Aleatorio.
- **TF2.-** se compone de un conjunto de símbolos OFDM de propósito general, que contienen ya sea Datos o Subcanales de Sincronización/Aleatoriedad.

El RCTT transmite ráfagas de datos, mediante las estructuras de ráfagas de datos (Burst Structure - BS), y lo hace en base a un número entero de celdas ATM (una celda ATM es el contenedor común usado para llevar el control MAC o los mensajes de datos MAC). Sea cual sea la tasa de codificación y la modulación física, las BS tienen una capacidad de ráfaga constante de 144 símbolos modulados.

DVB-RCT define tres estructuras de ráfagas BS1, BS2 y BS3 que tienen sus propias características con respecto a la división de las ráfagas de datos y las portadoras piloto a través de las ranuras tiempo/frecuencia.

La asignación de las estructuras de ráfaga (BS) en las tramas de transmisión (TF), es controlado por el proceso MAC que se ejecuta en la estación base, para esto existen tres métodos llamados Esquemas de Acceso al Medio (Medium Access Scheme - MAS), que a su vez están relacionados con los modos de acceso que tendrán los RCTTs para solicitar recursos a la estación base.

El TF1 es adecuado para los Esquemas de Acceso al Medio 1 y 2 (MAS1 y MAS2), que describen el método de asignación para BS1 y BS2 respectivamente. El TF2 en cambio es usado solamente para MAS3, y provee el método de asignación a ser usado en BS3 y BS2. En la tabla 1 se definen las 4 combinaciones existentes para crear los Esquemas de Acceso al Medio, y se indican los modos de acceso correspondientes.

Esquema de acceso	Trama de transmisión	Estructura de ráfaga	Modo de acceso
N/A	N/A	N/A	Acceso de sincronización
MAS1	TF1	BS1	Acceso de tasa fija
MAS2	TF1	BS2	Acceso de contención
MAS3	TF2	BS3	Acceso de reserva
MAS3	TF2	BS2 (opcional)	

**Tabla 1:** Esquemas de acceso al medio del estándar DVB-RCT

**Fuente:** elaboración propia

### Modos de transmisión

DVB-RCT especifica 6 modos de operación definidos por el máximo número de portadoras usadas, dado por el tamaño de la FFT (1K y 2K), y su distancia entre-portadora (Carrier Spacing – CS). Solamente un modo de transmisión podrá ser implementado en un canal de radiofrecuencia. En la tabla 2 se indican las distancias entre-portadora aproximadas para un canal de 6 MHz.

	Distancia entre-portadora
<b>CS1</b>	0,84 kHz
<b>CS2</b>	1,67 kHz
<b>CS3</b>	3,35 kHz

**Tabla 2:** Distancias entre-portadora para un canal de 6 MHz

**Fuente:** elaboración propia

La distancia entre-portadora controla la robustez del sistema en lo que respecta a la posible desincronización de cualquier RCTT. Cada valor implica un tamaño de celda de transmisión máxima y brinda una resistencia al efecto Doppler cuando el RCTT está en movimiento. En la tabla 3, se indican los parámetros de los modos de transmisión aplicables para el estándar DVB-RCT utilizando un canal de radiofrecuencia de 6 MHz.

	<b>Sistema DVB-RCT 6 MHz</b>	
<b>Portadoras totales del Sistema (Tsc)</b>	<b>1024 (1K)</b>	<b>2048 (2K)</b>
<b>Portadoras útiles (Cu)</b>	<b>842</b>	<b>1712</b>
<b>Reloj del sistema RCT (T)</b>	1,167 us	0,583 us
<b>Duración del símbolo útil (Tu)</b>	1195 us	1195 us
<b>Distancia entre-portadora1 (Cs1)</b>	837 Hz	837 Hz
<b>Ancho de banda del canal RCT (Bu)</b>	0,705 MHz	1,433 MHz
<b>Reloj del sistema RCT (T)</b>	0,583 us	0,292 us
<b>Duración del símbolo útil (Tu)</b>	597 us	597 us
<b>Distancia entre-portadora2 (Cs2)</b>	1674 Hz	1674 Hz
<b>Ancho de banda del canal RCT (Bu)</b>	1,410 MHz	2,866 MHz
<b>Reloj del sistema RCT (T)</b>	0,292 us	0,146 us
<b>Duración del símbolo útil (Tu)</b>	299 us	299 us
<b>Distancia entre-portadora3 (Cs3)</b>	3348 Hz	3348 Hz
<b>Ancho de banda del canal RCT (Bu)</b>	2,819MHz	5,732 MHz

**Tabla 3:** Modos de transmisión del estándar DVB-RCT para un canal de 6 MHz

**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

Cada combinación tiene una compensación específica entre la diversidad en frecuencia y la diversidad en tiempo, y además entre el rango de cobertura y la capacidad de portabilidad.

### Tramas de transmisión (TF)

Las tramas de transmisión proveen al canal de radiofrecuencia de una estructura repetitiva, compuesta de un conjunto de ranuras tiempo/frecuencia, en las que Símbolos Nulos, Símbolos Sincronización/Aleatorios, Símbolos de Datos y Símbolos Pilotos son embebidos para proveer recursos para la sincronización y transmisión de datos. El proceso MAC que se ejecuta en la estación base maneja los recursos provistos por las tramas de transmisión.



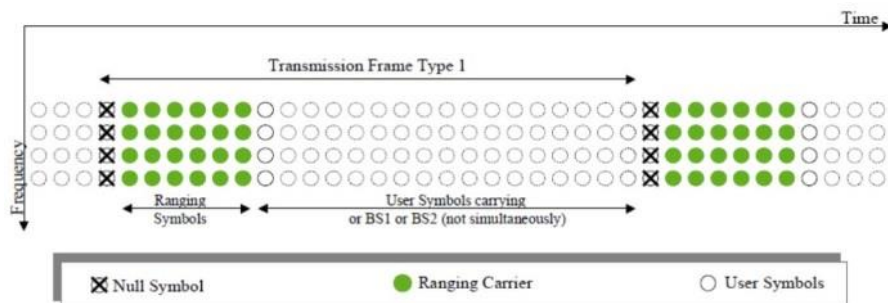
TF1 organiza el canal en el dominio del tiempo, usando conjuntos específicos de símbolos OFDM para transmitir símbolos nulos, símbolos aleatorios/sincronización y símbolos de usuario. Mientras que TF2 organiza el canal en el dominio de la frecuencia, donde un conjunto de 5 subcanales consecutivos (llamados subcanales aleatorios), son usados para sincronización, mientras que el resto de subcanales son usados para transmisión de datos.

Para organizar TF1 en el dominio del tiempo, la trama de transmisión puede llevar las siguientes tres categorías de símbolos.

- **Símbolo Nulo.-** ninguna transmisión ocurrirá en el primer símbolo OFDM de la trama de transmisión. Este símbolo provee la detección del jammer de la estación base receptora.
- **Símbolos Aleatorios.-** muchos símbolos consecutivos OFDM (6, 12, 24 o 48) son provistos para permitir características de aleatoriedad al RCTT.
- **Símbolos de usuario.-** parte de la trama de transmisión permite la transmisión de estructuras de ráfagas de datos (BS1 o BS2), las cuales incluyen datos de usuario y portadoras piloto. Tanto BS1 como BS2 hacen uso de un conjunto de portadoras, llamadas subcanales que se encuentran repartidos en todo el canal.

Además los símbolos de usuario pueden llevar una BS1 o cuatro BS2, y tanto BS1 como BS2 no podrán ser utilizadas al mismo tiempo.

En la figura 5, se muestra la organización de la TF1, aquí los símbolos nulos y los aleatorios siempre usarán el conformado rectangular; mientras que los símbolos de usuario utilizan el conformado rectangular o el conformado de Nyquist.

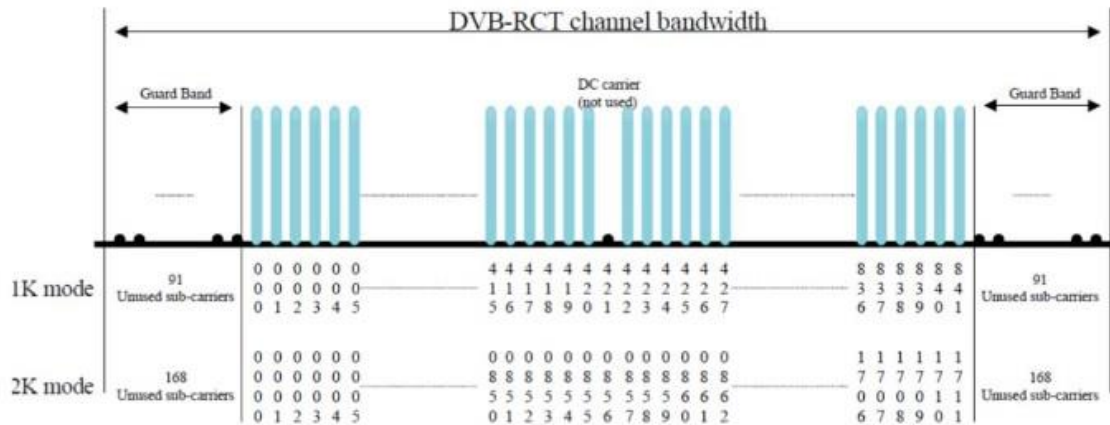


**Figura 5:** Organización de la TF1 en el dominio del tiempo  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

Si los símbolos de usuario usan el conformado rectangular, el valor del GI será idéntico para todos los símbolos OFDM embebidos en la trama TF1. Si en cambio usa el conformado de Nyquist el valor del GI se aplicará sobre el Símbolo Nulo y los Símbolos Aleatorios y el mismo será de  $\frac{1}{4}$ .

En la figura 6, se muestra la organización de TF2 en el dominio de la frecuencia en donde dependiendo del conjunto de portadoras (1K o 2K), se tiene un número de portadoras útiles, pero además se cuenta con un número de portadoras no usadas que se ubican en el borde del canal a ambos lados, para proveer de una banda que sirva de protección para los canales adyacentes. En el caso de 1K son 91 portadoras y en el de 2K son 168 portadoras a cada lado. Además algunas portadoras (portadoras DC) no son usadas para simplicidad del canal de radiofrecuencia.





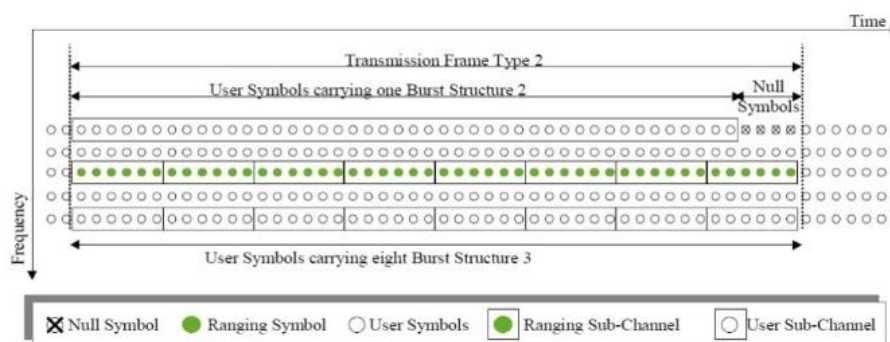
**Figura 6:** Organización del canal RCT para los modos 1K y 2K, dominio de la frecuencia  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

TF2, podrá llevar dos de las siguientes categorías de símbolos en el mismo símbolo OFDM.

- **Símbolos aleatorios.-** 8 intervalos aleatorios (hechos de 6 símbolos consecutivos), que brindan funciones de aleatoriedad.
- **Símbolos de usuario.-** llevan las estructuras de ráfagas de datos (BS3 o BS2), que incluyen portadoras de datos y pilotos. Tanto BS2 como BS3 hacen uso de un conjunto de portadoras, llamadas subcanales que se encuentran repartidos en todo el canal.

Los símbolos de usuario de la TF2 permite el uso de la BS3 u opcionalmente de la BS2. Cuando una BS2 es transmitida, esta deberá ser completada por un conjunto de 4 símbolos nulos modulados con el objetivo de alcanzar una duración igual a la duración de ocho BS3.

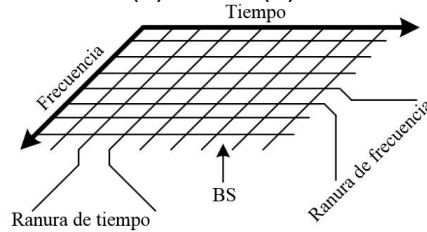
En la figura 7 se muestra la organización de la TF2, aquí se utilizará solo el conformado Rectangular por lo que el valor del GI será idéntico para todos los símbolos OFDM embebidos en la trama TF2.



**Figura 7:** Organización de la TF2 en el dominio del tiempo  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

### Estructuras de ráfagas de datos (BS)

El canal de retorno es dividido en una malla de ranuras de tiempo/frecuencia, en donde en cada ranura de tiempo se pueden usar diferentes frecuencias simultáneamente para transmitir. Esto es conocido como estructura de ráfaga de datos (BS) y es la ranura de transmisión básica asignada a un RCTT, en la figura 8 se ilustra el concepto.



**Figura 8:** Ranuras de transmisión básica de un RCTT

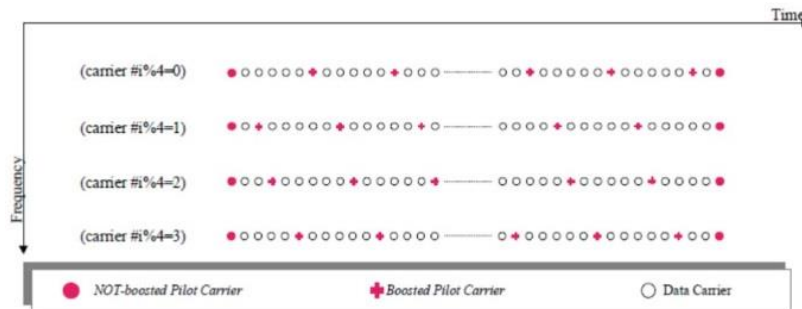
**Fuente:** Elaboración propia

El estándar define tres estructuras de ráfaga que brindan varias combinaciones diversas en tiempo y frecuencia, proporcionado de esta manera diferentes grados de robustez, duración de ráfaga y un amplio rango de capacidad tasa de bits al sistema.

Cada BS hace uso de un conjunto de portadoras llamadas subcanales. Uno o muchos subcanales pueden ser usados simultáneamente por un RCTT dependiendo de la asignación realizada por el proceso MAC.

**BS1.-** Está formada por una única portadora (1 subcanal) para llevar la ráfaga de datos total (144 símbolos de datos modulados) sobre la componente del tiempo, con un salto de frecuencia opcional aplicado dentro de la duración de la ráfaga.

El subcanal de BS1 está compuesto de 4 mini-ráfagas que a su vez tienen portadoras de datos y portadoras piloto, estas últimas tienen un patrón de distribución específico que se indica en la figura 9.



**Figura 9:** Esquema de inserción de pilotos para las mini-ráfagas de BS1

**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

La asignación de una portadora a la primera mini-ráfaga del subcanal será conforme con el valor dado en la tabla 4.

	Modo 1K	Modo 2K
<b>Número virtual de portadoras en un símbolo OFDM</b>	1024	2048
<b>Portadoras totales</b>	842	1712
<b>Banda de guarda en cada borde</b>	91	168
<b>Número máximo de portadoras útiles (número subcanales BS1)</b>	840	1708
<b>Número de portadoras excluidas</b>	0, 421	0, 1, 856, 1711
<b>Numeración del subcanal</b>	del 1 al 420; y del 422 al 841	del 2 al 855; y del 857 al 1710

**Tabla 4:** Asignación de parámetros para conformado Rectangular y Nyquist, subcanal BS1

**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

**Recibido:** Mayo 2016. **Aceptado:** Julio 2016

Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES

Para la asignación de datos BS1 provee dos opciones, BS1 sin salto de frecuencia y BS1 con salto de frecuencia (opcional).

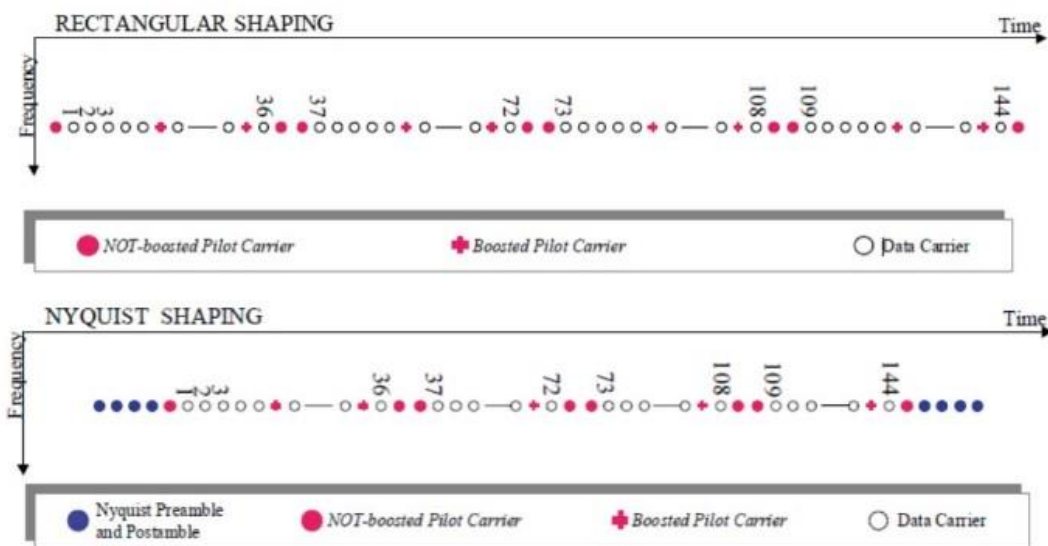
**BS1 sin salto de frecuencia.-** La asignación de datos será hecha secuencialmente, después de la decodificación, el entrelazo y la conversión del flujo binario a las constelaciones, sobre las 4 mini-ráfagas consecutivas de una ráfaga BS1. Cada una de las 4 mini-ráfagas, se asignarán a la misma portadora, en una secuencia de tiempo. La asignación de una portadora al subcanal, para la opción sin salto de frecuencia, será conforme a los valores de la Tabla 5.

	Rectangular	Nyquist
<b>Símbolos de datos en una mini-ráfaga</b>	36	36
<b>Símbolos piloto en una mini-ráfaga</b>	9	9
<b>Símbolos de datos en una ráfaga</b>	144	144
<b>Símbolos piloto en una ráfaga</b>	36	36
<b>Símbolos nulos pre/post preámbulo</b>	0	8
<b>Total de símbolos OFDM en la portadora (tiempo de transmisión)</b>	180	188

**Tabla 5:** Asignación de parámetros para BS1, opción sin salto de frecuencia

**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

En la figura 10 se indica la organización de BS1, realizada sobre una portadora Modulo 4, índice 0 usando conformado Rectangular y de Nyquist respectivamente y utilizando los valores descritos en la tabla 5.



**Figura 10:** Organización de BS1, opción sin de salto de frecuencia para conformado Rectangular y de Nyquist. **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

**BS1 con salto de frecuencia (opcional).-** para proveer diversidad de frecuencia para BS1, la opción de salto de frecuencia puede ser implementada para la transmisión de las mini-ráfagas. La asignación de datos será hecha secuencialmente, como en la opción sin salto de frecuencia.

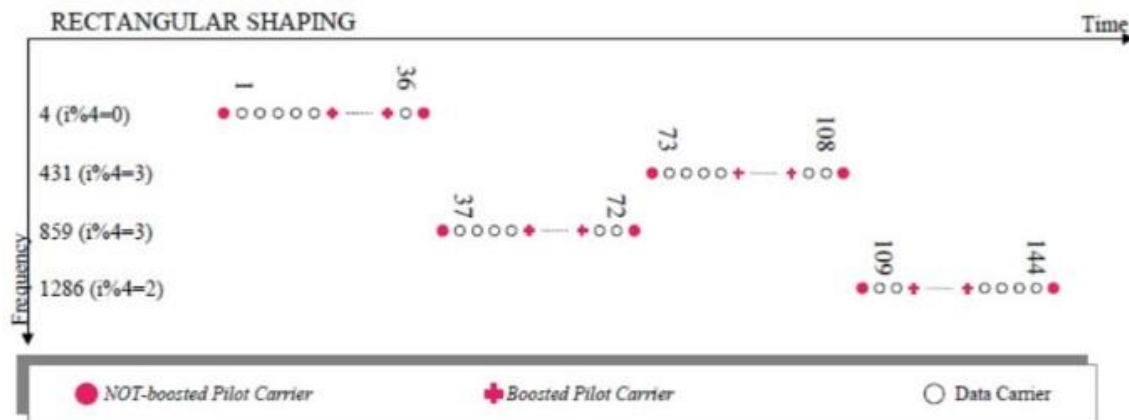
Cada una de las 4 mini-ráfagas, serán asignadas a 4 portadoras diferentes. La asignación de una portadora a un subcanal, con la opción de salto de frecuencia, será conforme los valores de la tabla 6.

	Rectangular	Nyquist
<b>Símbolos de datos en una mini-ráfaga</b>	36	36
<b>Símbolos piloto en una mini-ráfaga</b>	9	9
<b>Símbolos de datos en una ráfaga</b>	144	144
<b>Símbolos piloto en una ráfaga</b>	36	36
<b>Símbolos nulos pre/post preámbulo</b>	0	32 <sup>1</sup>
<b>Total de símbolos OFDM en la portadora (tiempo de transmisión)</b>	180	212

**Tabla 6:** Asignación de parámetros para BS1, opción con salto de frecuencia

**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

En la figura 11 se indica la organización de BS1, realizada sobre 4 portadoras (4, 431, 859, 1286) Modulo 4, índice (0, 3, 3, 2) usando conformado Rectangular y utilizando los valores descritos en la tabla 6.



**Figura 11:** Organización de BS1, opción con salto de frecuencia para conformado Rectangular

**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

**BS2.-** usará simultáneamente 4 portadoras (4 subcanales) llevando cada una, la cuarta parte del total de ráfaga de datos (36 símbolos de datos modulados por portadora). BS2 llevará 144 símbolos de datos, organizados en 4 ráfagas que serán transmitidas simultáneamente en una portadora por separado. Las 4 portadoras usadas forman un subcanal.

El subcanal será definido de acuerdo al uso de BS2 ya sea en el MAS2 o en el MAS3 (opcional), mientras que la asignación de datos será hecha secuencialmente como en BS1, así como la inserción de pilotos. La asignación de portadoras, será conforme los valores de la tabla 7.

	Rectangular	Nyquist
<b>Símbolos de datos en la ráfaga</b>	144	144
<b>Símbolos piloto en la ráfaga</b>	36 <sup>2</sup>	36 <sup>3</sup>
<b>Símbolos nulos pre/post preámbulo</b>	0	32 <sup>4</sup>
<b>Número total de símbolos de usuario</b>	176	208
<b>Total de símbolos OFDM por portadora (tiempo de transmisión)</b>	45 <sup>5</sup>	53 <sup>6</sup>

**Tabla 7:** Asignación de parámetros para conformados de señal Rectangular y Nyquist,

subcanal BS2. **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

<sup>1</sup> 8 símbolos x 4 portadoras

<sup>2</sup> 9 símbolos piloto x 4 portadoras

<sup>3</sup> 9 símbolos piloto x 4 portadoras

<sup>4</sup> 36 símbolos de datos + 9 símbolos piloto

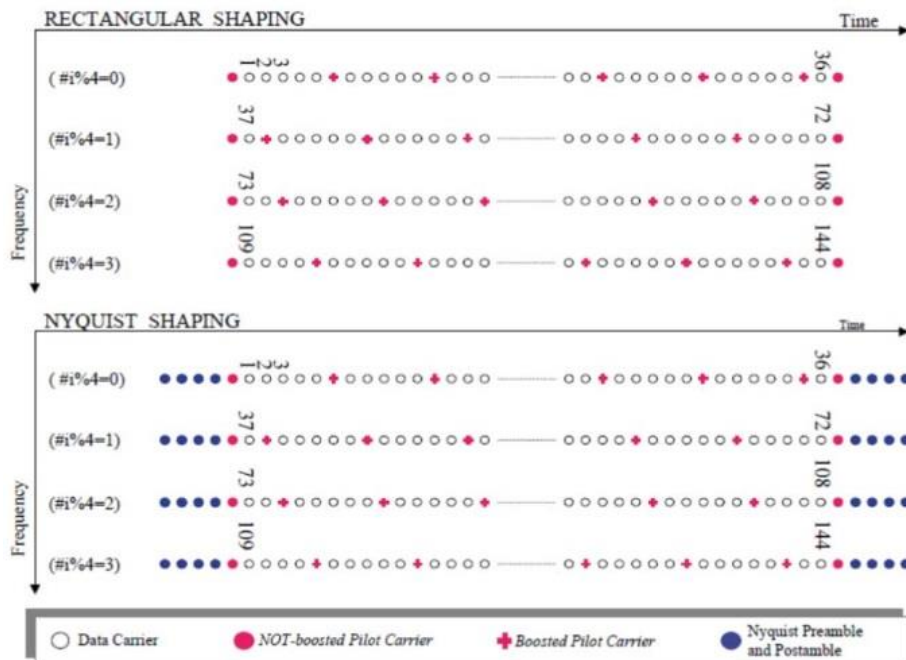
<sup>5</sup> 8 símbolos x 4 portadoras

<sup>6</sup> 36 símbolos de datos + 9 símbolos piloto + 8 símbolos nulos

**Recibido:** Mayo 2016. **Aceptado:** Julio 2016

Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES

La figura 12, ilustra una BS2 transmitida sobre 4 portadoras Módulo 4, índice (0, 1, 2, 3) respectivamente y usando conformado de señal Rectangular y de Nyquist, y utilizando los valores descritos en la tabla 8.



**Figura 12:** Organización de BS2 para conformado Rectangular y de Nyquist  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

Cuando se usa MAS2, la asignación de las 4 portadoras al subcanal seguirá los valores descritos en la tabla 8.

	Modo 1K	Modo 2K
<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	1024	2048
<b>Portadoras totales</b>	842	1712
<b>Número máximo de portadoras útiles (4 portadoras)</b>	840	1708
<b>Máximo número de portadoras útiles por cada portadora ( número subcanales BS2)</b>	210	427
<b>Numeración de las portadoras</b>	de 0 a 841	de 0 a 1711
<b>Banda de guarda en la izquierda</b>	91	168
<b>Banda de guarda en la derecha</b>	91	168
<b>Número de portadoras excluidas</b>	0, 421	0, 1, 856, 1711
<b>Numeración del subcanal: SCN</b>	del 1 al 210	del 2 al 428
<b>X</b>	210	427
<b>Y</b>	420	855
<b>Z</b>	630	1282

**Tabla 8:** Asignación de parámetros cuando se usa MAS2, subcanal BS2. **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

Las siguientes fórmulas definen la indexación de la portadora dentro de una asignación de un subcanal para los modos 2K y 1K.

Portadora 0 = SCN

Portadora 1 = SCN + X

Portadora 2 = SCN + Y

Portadora 3 = SCN + Z

Por su parte, cuando se usa MAS3, la asignación de 4 portadoras al subcanal es realizada por la asignación de un subconjunto de portadoras dentro de un subcanal BS3. Es así que en BS3 se tienen 7 subconjuntos de 4 portadoras cada uno (en total 28 portadoras numeradas de 0 a 28) y se deja una portadora sin usar.

La asignación de portadoras a los subconjuntos de BS2 es obtenida por la siguiente fórmula: Subconjunto#(SCN,n) = Portadora#(n-1), Portadora#(n+6), Portadora#(n+13), Portadora#(n+20). Donde n indica el número de subconjunto para la asignación del subcanal BS2 dentro de los subconjuntos del subcanal BS3 (7 en total). En este sentido se usa la siguiente fórmula para la asignación de los subcanales de BS2: Subcanal BS2# = SCN+n; donde  $1 \leq n \leq 7$ , subcanales indicados en la tabla 9.

	Modo 1K	Modo 2K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	1024	2048
Numeración del subcanal: SubcanalBS2	1..7, 11..17, 21..27, ..281..287	1..7, 11..17, 21..27, ..581..587

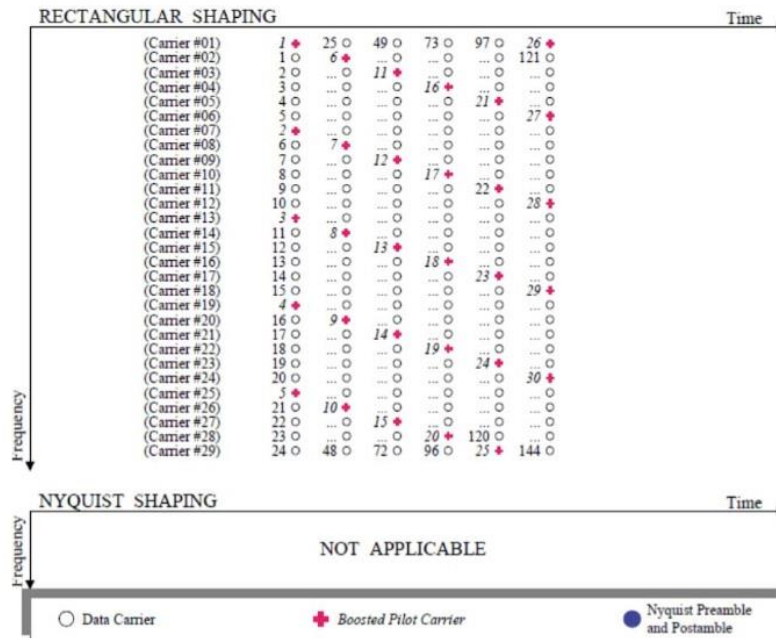
**Tabla 9:** Asignación de parámetros subcanal BS2 cuando se usa MAS3 (conformado Rectangular). **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

El número de subcanales en BS3 está hecho en múltiplos de 10 para permitir la numeración de los subcanales de BS2 dentro de los subcanales de BS3 para el MAS3.

**BS3.-** usará simultáneamente 29 portadoras (29 subcanales) llevando cada una, la vigésima novena parte del total de ráfaga de datos (aproximadamente 4,97 símbolos de datos modulados por portadora).

BS3 llevará 144 símbolos de datos transmitidas sobre 29 portadoras. Este grupo de 29 portadoras forman un subcanal. Esta estructura de ráfaga puede usarse solamente con conformado de señal rectangular. Su esquema de inserción de pilotos es indicado en la figura 13.





**Figura 13:** Esquema de inserción de pilotos para BS3. **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

Para la asignación de portadoras, BS3 usará los parámetros del dominio del tiempo y del dominio de la frecuencia descritos en las tablas 10 y 11 respectivamente.

	Rectangular	Nyquist
<b>Símbolos de datos en la ráfaga</b>	144	No aplica
<b>Símbolos piloto en la ráfaga</b>	30	No aplica
<b>Número total de símbolos de usuario</b>	174	No aplica
<b>Total de símbolos OFDM por portadora (tiempo de transmisión)</b>	6	No aplica

**Tabla 10:** Asignación de parámetros dominio del tiempo, conformado de señal Rectangular, subcanal BS3. **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

	Modo 1K	Modo 2K
<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	1024	2048
<b>Portadoras totales</b>	842	1712
<b>Numeración de las portadoras</b>	de 0 a 841	de 0 a 1711
<b>Banda de guarda en la izquierda</b>	91	168
<b>Banda de guarda en la derecha</b>	91	168
<b>Número de portadoras excluidas</b>	421	856
<b>Número de subcanales BS3</b>	29	59
<b>Numeración del subcanal: SCN</b>	0, 10, 20, 30, ..280	0, 10, 20, 30, ..580

**Tabla 11:** Asignación de parámetros dominio de la frecuencia, conformado de señal Rectangular, subcanal BS3. **Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

En BS2 y BS3 las portadoras no son consecutivas, pero están esparcidas a través de todo el canal de radiofrecuencia.

Las 3 estructuras de ráfaga proveen un esquema de modulación asistida de piloto que permite la detección coherente en la estación base. La relación de inserción de pilotos es de aproximadamente 1/6, lo que significa que un patrón de portadoras piloto (PPP) es insertado cada 5 portadoras de datos.



### Esquemas de acceso al medio (MAS)

El estándar DVB-RCT ofrece 2 Tramas de Transmisión (TF) y 3 Estructuras de Ráfaga (BS), los Esquemas de Acceso al Medio (MAS1, MAS2 y MAS3) proveen la asignación de una o más BS sobre una TF.

Para todas las BS, la estación base controla el número de subcanales simultáneamente asignados a un RCTT, con las siguientes limitaciones:

- Para conformado de señal Nyquist no más de 64 subcanales podrán ser asignados a un RCTT. Además, cuando muchos subcanales son asignados, la numeración de sus subcanales deberá ser consecutiva.
- Para conformado de señal Rectangular no más de 128 subcanales usando modulación 64QAM, o 192 subcanales usando 16QAM o 384 subcanales usando QPSK, podrán ser asignados a un RCTT.

El número de símbolos usados, símbolos de datos y símbolos de sincronización que constituyen la TF para MAS1, MAS2 y MAS3 deberá cumplir con los valores dados en las Tablas 12, 13 y 14 respectivamente.

	Conformado Rectangular con y sin salto de frecuencia	Conformado de Nyquist sin salto de frecuencia	Conformado de Nyquist con salto de frecuencia
<b>Símbolos OFDM de usuario</b>	180	188	212
<b>Símbolos OFDM nulos</b>	1	1	1
<b>Símbolos OFDM aleatorios/sincronización</b>	6, 12, 24, ó 48	6, 12, 24, ó 48	6, 12, 24, ó 48
<b>Número total de símbolos en una TF</b>	187, 193, 205, ó 229	195, 201, 213, ó 237	219, 225, 237, ó 261

**Tabla 12:** Parámetros de TF1, BS1 para conformado de señal Rectangular y Nyquist (MAS1)  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

	Conformado Rectangular	Conformado de Nyquist
<b>Símbolos OFDM de usuario</b>	176	208
<b>Símbolos OFDM nulos</b>	1	1
<b>Símbolos OFDM aleatorios/sincronización</b>	6, 12, 24, ó 48	6, 12, 24, ó 48
<b>Número total de símbolos en una TF</b>	187, 193, 205, ó 229	219, 225, 237, ó 261

**Tabla 13:** Parámetros de TF1, BS2 para conformado de señal Rectangular y Nyquist (MAS2)  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

	Conformado Rectangular con BS2 (opcional)	Conformado Rectangular con BS3
<b>Símbolos OFDM de usuario</b>	44	48
<b>Símbolos OFDM nulos</b>	4	0
<b>Número de BS en una TF</b>	1	8
<b>Símbolos OFDM aleatorios/sincronización</b>	0	0
<b>Número total de símbolos en una TF</b>	48	48

**Tabla 14:** Parámetros de TF2 con BS2 y BS3 para conformado de señal Rectangular (MAS3).  
**Fuente:** EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1 (ETSI, 2002).

### Capa MAC DVB-RCT

#### Modos de acceso

En el enlace ascendente se utiliza la capa de control de acceso al medio (capa MAC),

constituida sobre la capa física para proveer seguridad y compartición del canal entre los RCTTs y la estación base. MAC ofrece un uso transparente de la capa física a los protocolos de capas superiores, habilitando en la estación base el adaptador de red interactivo (*Interactive Network Adapter - INA*), que ejecuta el proceso conocido como controlador de la capa MAC, mediante el cual asigna los recursos de subida (ranuras de tiempo/frecuencia) a los RCTTs, mismos que pueden solicitar más recursos si la estación base no se los ha provisto o si le ha dado muy pocos.

El control de acceso al medio es realizado mediante mensajería en un canal de bajada pero soporta muchos canales de subida dentro de una celda para incrementar la capacidad. Los datos de bajada son encapsulados en paquetes MPEG2, mientras que los mensajes MAC de subida pueden ser encapsulados como paquetes cortos de longitud constante encaminados individualmente a través de trayectos virtuales (celdas ATM - Asynchronous Transfer Mode); o a su vez pueden ser asignados directamente dentro de una ráfaga física y enviados en los esquemas de acceso al medio de tasa fija, de contención, o de reserva.

El controlador de la capa MAC sincroniza cada RCTT en tiempo, potencia y frecuencia. En este proceso la sincronización en frecuencia se deriva de la señal emitida por la estación base, mientras que la sincronización de tiempo y potencia resultan de la utilización de mensajes MAC. La sincronización en tiempo es realizada mediante el proceso de inicialización, en donde el RCTT que desee sincronizarse con la estación base por primera vez, demodula la señal DVB-T y obtiene toda la información de control sobre la operación de la red, luego de lo cual transmite un código aleatorio de inicialización utilizando uno de los subcanales aleatorios de subida (subcanal de servicio) para entrar a la red. Este código aleatorio puede ser uno de los 32 existentes utilizados para tareas de inicialización, mantenimiento o solicitud de ancho de banda. La entrada al sistema es anónima y la única información relevante para la estación base es el código aleatorio y el intervalo de tiempo en que se recibe.

Luego de que la sincronización inicial se ha efectuado correctamente, se establece una conexión entre el RCTT y la estación base. Un RCTT puede soportar tantas conexiones como requerimientos de capas superiores exista, la única limitación es que solamente una conexión puede ser manejada a la vez, debido a que por razones de implementación todas las conexiones se asignarán a los mismos canales de subida y bajada. Para cada conexión un identificador es asignado a la capa MAC, y a su vez una conexión puede ser asignada inicialmente a cualquier ranura. Una vez que el RCTT es sincronizado con la estación base, el subcanal de servicio es usado para mantener dicha sincronización durante la conexión, además de ser usado para requerir ancho de banda.

Por su parte el controlador de la capa MAC continuamente monitorea las transmisiones de subida para verificar que todos los RCTTs estén dentro de los umbrales predefinidos de tiempo, potencia y frecuencia, asegurando de este modo que los RCTTs usen poca potencia al momento de transmitir. Si existe algún equipo de usuario fuera de estos parámetros, empieza un proceso de recalibración. Para la asignación de ancho de banda el RCTT envía un mensaje MAC mediante el canal de interacción (UL) solicitando la cantidad necesaria de ranuras. Si solamente requiere una, envía la petición directamente y finaliza la conexión. Cabe destacar que el RCTT pierde un slot para enviar el requerimiento.

Luego de recibir el requerimiento de ancho de banda, la estación base envía mediante el canal de difusión (DL) un reconocimiento al RCTT para identificarlo, aquí transcurre un tiempo conocido como retardo de reconocimiento y de acuerdo al modo de transmisión usado por el RCTT, asigna el número de ranuras requeridas utilizando los subcanales de datos y el modo de acceso de tasa fija. Si la asignación no es obtenida, el usuario vuelve a transmitir la solicitud de ancho de banda.

Así mismo el controlador MAC indica los modos de transmisión (MODCODs) que deberán tener los RCTTs para cada conexión, y estos valores pueden ser cambiados dinámicamente por este controlador mediante el mecanismo de modulación adaptativa asignable dinámicamente.

Dentro de los modos de acceso disponibles para los RCTTs se tiene el modo de acceso de tasa fija, conocido también como MAS1 (TF1-BS1), el modo de acceso de contención, o MAS 2 (TF1-BS2), el modo de acceso de reserva, o MAS 3 (TF2-BS3), aunque existe un cuarto esquema que no tiene que ver con esta combinación llamado esquema de sincronización.

**Modo de acceso de tasa fija.-** Cuando una conexión es establecida, el INA asigna una lista de ranuras al RCTT. El INA puede también asignar ranuras de acceso de tasa fija a una conexión en respuesta a un requerimiento de ancho de banda solicitado por un RCTT mediante un mensaje MAC o mediante un procedimiento de sincronización. Hay que tener en cuenta que en el establecimiento de la conexión, al RCTT no se le pueden asignar recursos de subida. En este caso los modos de acceso de contención o de reserva serán usados.

**Modo de acceso de contención.-** Tanto los mensajes de datos como los mensajes MAC son enviados en las ranuras no reservadas identificadas por el INA en la transmisión descendente. Este modo de acceso provee una asignación instantánea de canal para los RCTTs, que tengan el mismo acceso al canal ascendente. El INA especifica el número máximo de paquetes de subida que pueden ser transmitidos usando este modo de acceso. Si la longitud del mensaje es mayor, el modo de acceso de reserva será usado.

Para MODCODs con una longitud de ráfaga más pequeña que la de una celda ATM (53 bytes), solamente los mensajes MAC que se ajustan en la ráfaga pueden ser enviados en el modo de acceso de contención; en cambio cuando la longitud de ráfaga es mayor, tanto los mensajes de datos como los mensajes MAC pueden ser enviados Encapsulados en celdas ATM en este modo de acceso. Esto significa que solamente los MODCODs 16QAM  $\frac{3}{4}$ , 64QAM  $\frac{1}{2}$  y 64QAM  $\frac{3}{4}$  podrán ser usados en este caso. Sin embargo, todos los MODCODs son capaces de transmitir un mensaje MAC de requerimiento de ancho de banda en el modo de acceso de contención.

**Modo de acceso de reserva.-** El INA puede conceder una lista de ranuras en este modo de acceso para un RCTT que solicita una conexión mediante un mensaje MAC o mediante el procedimiento de sincronización. DVB-RCT implementa un mecanismo de piggybacking, en el cual un RCTT puede solicitar 1 de las 3 ranuras predefinidas por el INA, con cualquier tamaño de celda ATM. Antes de que un RCTT puede hacer esta solicitud con el modo de acceso de reserva, o utilizando el piggybacking, tiene que asignarle un identificador (ID) de reserva. DVB-RCT implementa además un mecanismo de piggybacking continuo, en el cual un RCTT empieza a solicitar el

número mínimo de ranuras posibles en la última ranura de carga útil de datos, incluso si no hay más datos en la cola ascendente del RCTT. La idea es cubrir los períodos de inactividad cortos sin la necesidad de utilizar el modo de acceso de contención en el momento en que la siguiente carga útil de datos vaya a ser transferida, mejorando el retardo en el acceso pero perdiendo algo de ancho de banda.

**Modo de acceso de sincronización.-** Es usado para realizar la sincronización de frecuencia, potencia y tiempo de un RCTT al inicio de la conexión, y mantiene la misma durante la conexión. El subcanal de sincronización puede ser usado también para una contención rápida y segura basada en las solicitudes de ancho de banda, enviando un código aleatorio de solicitud de ancho de banda en el subcanal de sincronización. Un RCTT que desee ejecutar la sincronización elegirá al azar uno de los 32 códigos disponibles especificados para cada función. La entrada al sistema es anónima y permanece así para todo el proceso, los RCTTs son identificados por la ranura sincronizada enviada y el código aleatorio.

## **Capa física DVB-RCT2**

### **Generalidades**

El nuevo estándar de canal de retorno DVB-RCT2 está pensado para proveer un canal de retorno inalámbrico para las tecnologías ISDB-Tb, DVB-T y DVB-T2, siendo esta una propuesta innovadora que podría ser utilizada en toda Latinoamérica utilizando cualquier tecnología de TDT en DL.

Para la organización del canal de retorno a nivel de capa física, DVB-RCT2 al igual que su predecesor tendrá dos conformados de señal; con el fin de dotar de inmunidad contra ICI, e ISI.

- **Conformado de Nyquist (Nyquist shaping).**- usa filtrado de Nyquist en tiempo sobre cada portadora, sirve también para brindar inmunidad contra jammers.
- **Conformado Rectangular (Rectangular shaping).**- usa una disposición ortogonal de las portadoras y un GI con valores de 1/4, **19/128**, 1/8, **19/256**, 1/16, 1/32, **1/128** (tomados de DVB-T2) (Gómez, et al., 2013) entre los símbolos modulados, sirve además para combatir los efectos de la propagación multicamino.

Así mismo, dependiendo del modo de transmisión usado, la señal total en el aire se compondrá de un conjunto de portadoras, basadas en DVB-T2 (**1K, 2K, 4K, 8K, 8K ext, 16K, 16K ext, 32K, 32K ext**) adyacentes moduladas sincrónicamente por el RCTT activo. Además al igual que DVB-RCT, DVB-RCT2 utilizará dos tramas de transmisión (TF), tres estructuras de ráfagas de datos (BS1, BS2, BS3), y tres esquemas de acceso al medio (MAS1, MAS2, MAS3).

### **Modos de transmisión**

DVB-RCT2 especificará 27 modos de operación definidos por el máximo número de portadoras usadas, dado por el tamaño de la FFT (**1K, 2K, 4K, 8K, 8K ext, 16K, 16K ext, 32K, 32K ext**), y su distancia entre-portadora (Carrier Spacing – CS). Se debe considerar como en DVB-RCT que solo un modo de transmisión podrá ser implementado en un canal de radiofrecuencia. En la tabla 15, se indican los parámetros de los modos de transmisión aplicables para el estándar DVB-RCT2 utilizando un canal de radiofrecuencia de 6 MHz, en donde:

- Portadoras totales del sistema (Tsc): es el número total de portadoras manejadas

**Recibido:** Mayo 2016. **Aceptado:** Julio 2016

Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES

por el estándar DVB-RCT2.

- Portadoras útiles (Cu): el máximo número de portadoras efectivamente usadas por el RCTT.
- Reloj del sistema RCT2 (T): se deriva del estándar DVB-T2, en donde el reloj del sistema definido para un canal de 6MHz es de 48/7 MHz o 7/48 us.
- Por consiguiente el reloj del sistema para DVB-RCT2 será:
  - En el caso de CS1, 4 veces el período del reloj del sistema de DVB-T2;
  - En el caso de CS2, 2 veces el período del reloj del sistema de DVB-T2;
  - En el caso de CS3, 1 vez el período del reloj del sistema de DVB-T2;
- Duración del símbolo útil (Tu): es el período útil del símbolo, expresado como:  $Tu = T_{sc} * T$
- Distancia entre-portadora (Cs): viene expresada como:  $Cs = 1/Tu$
- Ancho de banda del canal RCT2 (Bu): es el ancho de banda usado en el canal DVB-RCT2, viene expresado como:  $Bu = Cs_{1,2,3} * Cu$ .

Sistema DVB-RCT2 6 MHz					
Portadoras totales del Sistema (Tsc)	1024 (1K)	2048 (2K)	4096(4K)	8192 (8K)	8192 (8K ext)
Portadoras útiles (Cu)	853	1705	3409	6817	6913
Reloj del sistema RCT2 (T)	1,167 us	0,583 us	0,291 us	0,145 us	0,145 us
Duración del símbolo útil (Tu)	1195 us	1195 us	1195 us	1195 us	1195 us
Distancia entre-portadora1 (Cs1)	837 Hz	837 Hz	837 Hz	837 Hz	837 Hz
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	0,714 MHz	1,427 MHz	2,853 MHz	5,705 MHz	5,786 MHz
Reloj del sistema RCT2 (T)	0,583 us	0,291 us	0,145 us	0,072 us	0,072 us
Duración del símbolo útil (Tu)	597 us	597 us	597 us	597 us	597 us
Distancia entre-portadora2 (Cs2)	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	1,427 MHz	2,854 MHz	5,706 MHz	11,411 MHz	11,572 MHz
Reloj del sistema RCT2 (T)	0,291 us	0,145 us	0,072 us	0,036 us	0,036 us
Duración del símbolo útil (Tu)	298 us	298 us	298 us	298 us	298 us
Distancia entre-portadora3 (Cs3)	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	2,861 MHz	5,720 MHz	11,437 MHz	22,871 MHz	23,193 MHz
Portadoras totales del Sistema (Tsc)	16384 (16K)	16384 (16K ext)	32768 (32K)	32768 (32K ext)	--
Portadoras útiles (Cu)	13633	13921	27265	27841	--
Reloj del sistema RCT2 (T)	0,072 us	0,072 us	0,036 us	0,036 us	--
Duración del símbolo útil (Tu)	1195 us	1195 us	1195 us	1195 us	--
Distancia entre-portadora1 (Cs1)	837 Hz	837 Hz	837 Hz	837 Hz	--
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	11,410 MHz	11,651 MHz	22,820 MHz	23,302 MHz	--
Reloj del sistema RCT2	0,036 us	0,036 us	0,018 us	0,018 us	--

(T)					
Duración del símbolo útil (Tu)	597 us	597 us	597 us	597 us	--
Distancia entre-portadora2 (Cs2)	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz	--
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	22,821 MHz	23,303 MHz	45,641 MHz	46,605 MHz	--
Reloj del sistema RCT2 (T)	0,018 us	0,018 us	0,009 us	0,009 us	--
Duración del símbolo útil (Tu)	298 us	298 us	298 us	298 us	--
Distancia entre-portadora3 (Cs3)	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz	--
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	45,738 MHz	46,704 MHz	91,474 MHz	93,406 MHz	--

**Tabla 15:** Modos de transmisión del estándar DVB-RCT2 para un canal de 6 MHz. **Fuente:** Elaboración propia

### Estructuras de ráfagas de datos (BS)

Al igual que en DVB-RCT, para DVB-RCT2 el subcanal de BS1 está compuesto de 4 mini-ráfagas que a su vez tienen portadoras de datos y portadoras piloto, estas últimas con un patrón de distribución específico. La asignación de una portadora a la primera mini-ráfaga del subcanal será conforme con el valor dado en la tabla 16.

	Modo 1K	Modo 2K	Modo 4K	Modo 8K	Modo 8K ext
Número virtual de portadoras en un símbolo OFDM	1024	2048	4096	8192	8192
Portadoras totales	853	1705	3409	6817	6913
Banda de guarda en cada borde <sup>7</sup>	86	173	346	687	639
Número máximo de portadoras útiles ( número subcanales BS1)	851	1701	3403	6810	6897
Número de portadoras excluidas	0, 426	0, 1, 852, 1704	0, 1, 426, 852, 1704, 3408	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816	0, 1, 432, 864, 1728, 3456, 6912
Numeración del subcanal	del 1 al 426; y del 427 al 852	del 2 al 851; y del 853 al 1703	del 2 al 425; del 427 al 851; del 853 al 1703; y del 1705 al 3407	del 2 al 425; del 427 al 851; del 853 al 1703; del 1705 al 3407; y del 3409 al 6815	del 2 al 432; del 433 al 863; del 865 al 1727; del 1729 al 3455; y del 3457 al 6911
	Modo 16K	Modo 16K ext	Modo 32K	Modo 32K ext	
Número virtual de portadoras en un símbolo OFDM	16384	16384	32768	32768	--
Portadoras totales	13633	13921	27265	27841	--
Banda de guarda en cada borde	1375	1231	2751	2463	--
Número máximo de portadoras útiles (	13625	13889	27256	27777	--

<sup>7</sup> (portadoras virtuales en un símbolo OFDM – portadoras totales) Módulo 2, índice 1.

número subcanales BS1)					
Número de portadoras excluidas	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632	0, 1, 870, 1740, 3480, 6960, 13920	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632, 27264	0, 1, 870, 1740, 3480, 6960, 13920, 27840	--
Numeración del subcanal	del 2 al 425; del 427 al 851; del 853 al 1703; del 1705 al 3407; del 3409 al 6815; y del 6817 al 13631	del 2 al 869; del 871 al 1739; del 1741 al 3479; del 3481 al 6959; y del 6961 al 13919	del 2 al 425; del 427 al 851; del 853 al 1703; del 1705 al 3407; del 3409 al 6815; del 6817 al 13631; y del 13633 al 27263	del 2 al 869; del 871 al 1739; del 1741 al 3479; del 3481 al 6959; del 6961 al 13919; y del 13922 al 27839	--

**Tabla 16:** Asignación de parámetros para conformado Rectangular y Nyquist, subcanal BS1 de DVB-RCT2. **Fuente:** elaboración propia

BS1 con salto de frecuencia y BS1 sin salto de frecuencia para DVB-RCT2, funciona igual que en DVB-RCT. En lo referente a BS2, en DVB-RCT2 el subcanal será definido de acuerdo al uso de esta estructura de ráfaga ya sea en el MAS2 o en el MAS3 (opcional). Cuando se usa MAS2, la asignación de las 4 portadoras al subcanal seguirá los valores de a tabla 17.

	Modo 1K	Modo 2K	Modo 4K	Modo 8K	Modo 8K ext
Número de portadoras en un símbolo OFDM	1024	2048	4096	8192	8192
Portadoras totales	853	1705	3409	6817	6913
Número máximo de portadoras útiles ( 4 portadoras)	851	1701	3403	6810	6897
Máximo número de portadoras útiles por cada portadora (número subcanales BS2)	212	425	850	1702	1724
Numeración de las portadoras	de 0 a 852	de 0 a 1704	de 0 a 3408	de 0 a 6816	de 0 a 6912
Banda de guarda en la izquierda	86	173	346	687	639
Banda de guarda en la derecha	86	173	346	687	639
Número de portadoras excluidas	0, 426	0, 1, 852, 1704	0, 1, 426, 852, 1704, 3408	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816	0, 1, 432, 864, 1728, 3456, 6912
Numeración del subcanal: SCN	del 1 al 212	del 1 al 425	del 1 al 850	del 1 al 1702	del 1 al 1724
X	212	425	850	1702	1724
Y	425	851	1703	3407	3455
Z	637	1276	2553	5109	5179
	Modo 16K	Modo 16K ext	Modo 32K	Modo 32K ext	



<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	16384	16384	32768	32768	--
<b>Portadoras totales</b>	13633	13921	27265	27841	--
<b>Número máximo de portadoras útiles ( 4 portadoras)</b>	13625	13889	27256	27777	--
<b>Máximo número de portadoras útiles por cada portadora (número subcanales BS2)</b>	3406	3472	6814	6944	--
<b>Numeración de las portadoras</b>	de 0 a 13632	de 0 a 13920	de 0 a 27264	de 0 a 27840	
<b>Banda de guarda en la izquierda</b>	1375	1231	2751	2463	--
<b>Banda de guarda en la derecha</b>	1375	1231	2751	2463	--
<b>Número de portadoras excluidas</b>	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632	0, 1, 870, 1740, 3480, 6960, 13920	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632, 27264	0, 1, 870, 1740, 3480, 6960, 13920, 27840	--
<b>Numeración del subcanal: SCN</b>	del 1 al 3406	del 1 al 3472	del 1 al 6814	del 1 al 6944	--
<b>X</b>	3406	3472	6814	6944	--
<b>Y</b>	6815	6959	13631	13919	--
<b>Z</b>	10221	10431	20445	20863	--

**Tabla 17:** Asignación de parámetros cuando se usa MAS2, subcanal BS2 de DVB-RCT2

**Fuente:** elaboración propia

Las siguientes fórmulas definen la indexación de la portadora dentro de una asignación de un subcanal para los modos desde 1K hasta 32K ext.

Portadora 0 = SCN

Portadora 1 = SCN + X

Portadora 2 = SCN + Y

Portadora 3 = SCN + Z

Por su parte la asignación de portadoras para MAS3, sigue los mismos principios que en DVB-RCT, en este sentido la asignación de portadoras a los subconjuntos de BS2 es obtenida por la fórmula: Subconjunto#(SCN,n) = Portadora#(n-1), Portadora#(n+6), Portadora#(n+13), Portadora#(n+20).

Donde n indica el número de subconjunto para la asignación del subcanal BS2 dentro de los subconjuntos del subcanal BS3 (7 en total), mediante la fórmula Subcanal BS2# = SCN+n; donde  $1 \leq n \leq 7$ . El número de subcanales en BS3 está hecho en múltiplos de 10 para permitir la numeración de los subcanales de BS2 dentro de los subcanales de BS3 para el MAS3. Los parámetros de dicha asignación se definen en la tabla 18.

	<b>Modo 1K</b>	<b>Modo 2K</b>	<b>Modo 4K</b>	<b>Modo 8K</b>	<b>Modo 8K ext</b>
<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	1024	2048	4096	8192	8192
<b>Numeración del subcanal: SubcanalBS2</b>	1..7,..11..17, 281..287	1..7,..11..17, 581..587	1..7,..11..17, 1161..1167	1..7,..11..17, 2341..2347	1..7,..11..17, 2371..2377
	<b>Modo 16K</b>	<b>Modo 16K ext</b>	<b>Modo 32K</b>	<b>Modo 32K ext</b>	
<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	16384	16384	32768	32768	--
<b>Numeración del subcanal: SubcanalBS2</b>	1..7,..11..17, 4691..4697	1..7,..11..17, 4791..4797	1..7,..11..17, 9391..9397	1..7,..11..17, 9591..9597	--

**Tabla 18:** Asignación de parámetros subcanal BS2 cuando se usa MAS3 en DVB-RCT2 (conformado Rectangular). **Fuente:** elaboración propia

Por otro lado, la asignación de portadoras de BS3 en el dominio del tiempo para DVB-RCT2 será prácticamente la misma que para DVB-RCT, considerando como en los casos anteriores los tamaños de FFT del nuevo estándar propuesto; en lo referente al dominio de la frecuencia, los parámetros están descritos en la tabla 19.

	<b>Modo 1K</b>	<b>Modo 2K</b>	<b>Modo 4K</b>	<b>Modo 8K</b>	<b>Modo 8K ext</b>
<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	1024	2048	4096	8192	8192
<b>Portadoras totales</b>	853	1705	3409	6817	6913
<b>Numeración de las portadoras</b>	de 0 a 852	de 0 a 1704	de 0 a 3408	de 0 a 6816	de 0 a 6912
<b>Banda de guarda en la izquierda</b>	86	173	346	687	639
<b>Banda de guarda en la derecha</b>	86	173	346	687	639
<b>Número de portadoras excluidas</b>	426	852	1704	3408	3456
<b>Número de subcanales BS3</b>	29	59	117	235	238
<b>Numeración del subcanal: SCN</b>	0,10,20..280	0,10,20..580	0,10,20..1160	0,10,20..2340	0,10,20..2370
	<b>Modo 16K</b>	<b>Modo 16K ext</b>	<b>Modo 32K</b>	<b>Modo 32K ext</b>	
<b>Número de portadoras en un símbolo OFDM</b>	16384	16384	32768	32768	--
<b>Portadoras totales</b>	13633	13921	27265	27841	--
<b>Numeración de las portadoras</b>	de 0 a 13632	de 0 a 13920	de 0 a 27264	de 0 a 27840	
<b>Banda de guarda</b>	1375	1231	2751	2463	--

<b>en la izquierda</b>					
<b>Banda de guarda en la derecha</b>	1375	1231	2751	2463	--
<b>Número de portadoras excluidas</b>	6816	6960	13632	13920	--
<b>Número de subcanales BS3</b>	470	480	940	960	
<b>Numeración del subcanal: SCN</b>	0,10,20..4690	0,10,20..4790	0,10,20..9390	0,10,20..9590	

**Tabla 19:** Asignación de parámetros dominio de la frecuencia, conformado de señal Rectangular, subcanal BS3 de DVB-RCT2. **Fuente:** elaboración propia

### Esquemas de acceso al medio

En el estándar DVB-RCT2 la asignación de una o más BS sobre una TF, sigue los mismos principios que en el estándar DVB-RCT.

### Capa MAC DVB-RCT2

#### Modos de acceso

Los modos de acceso de DVB-RCT2 son los mismos que existen en el estándar DVB-RCT: tasa fija, contención, reserva, y sincronización. Para DVB-RCT2 se utilizará el modo de acceso de sincronización, puesto que tiene un rendimiento excelente para servicios con altas tasas de datos, además de un rendimiento considerable para servicios con bajas tasas de datos, con respecto al modo de acceso de contención (Fraile F, Gómez D, 2004).

Uno de los principales beneficios del modo de acceso de sincronización es la reducción de las posibles colisiones (solo presentes en el subcanal de sincronización, más no en el de datos). Dado que los códigos aleatorios que se envían son códigos CDMA, la estación base es capaz de identificar muchos códigos sin ambigüedad al mismo tiempo. Esta característica no es posible en el modo de acceso de contención, donde un considerable número de subcanales de datos deben ser dedicados únicamente para solicitudes de ancho de banda, así los nuevos usuarios que llegan no encontrarán a todos los subcanales con cargas de tráfico elevadas.

Otra ventaja del modo de acceso de sincronización es la baja capacidad que se utilizaría en el DL para implementar el protocolo MAC, debido a que la estación base no necesita informar sobre las ranuras en UL no usadas, ni sobre las posibles colisiones. Cabe señalar que la estación base en lugar de esto, realiza reconocimientos de los códigos de sincronización recibidos correctamente para asignar ancho de banda a los RCTTs. Por otra parte para la implementación de la capa física se utilizará BS3, debido a que entre otras cosas el protocolo MAC del estándar 802.16a (Wimax) que está basado en OFDMA, usa una capa física similar a la del estándar DVB-RCT usando BS3.

Por lo anteriormente mencionado se utilizará el modo de acceso de sincronización y la estructura de ráfaga de datos 3 (BS3) la misma que cuenta con 59 subcanales, de los cuales se ha considerado que 5 subcanales formarán el subcanal de sincronización y los 54 subcanales restantes serán utilizados para transmisión de datos. Con esto se logrará mejorar el rendimiento del sistema al utilizar 5 y no 4 subcanales en el subcanal de sincronización. Además es importante mencionar como se comentaba

anteriormente que en el modo de acceso de sincronización existen colisiones en el subcanal de sincronización, por lo tanto la medida de capacidad relevante de este modo de acceso es el rendimiento del sistema con respecto a la detección de los códigos de sincronización de solicitud de ancho de banda.

## CONCLUSIONES

- Los sistemas de TDT son una alternativa interesante para brindar acceso a Internet a zonas rurales, ya que ofrecen un alto porcentaje de penetración y costos de despliegue más baratos con respecto a otras soluciones de conectividad, debido a que pueden reutilizar infraestructura de la TV analógica y/o digital.
- Para el envío de las peticiones de usuario hacia la estación base (UL), RCT2 utilizará un canal de retorno adaptado de la arquitectura DVB-RCT, mientras que para el caso contrario (DL) se podría usar las arquitecturas ISDB-Tb, DVB-T o DVB-T2, lo que permitirá que RCT2 pueda ser utilizado en toda Latinoamérica.
- Al estar basado en DVB-RCT, el nuevo estándar de TDT con canal de retorno inalámbrico (DVB-RCT2), seguirá los mismos principios que su predecesor, sin embargo al utilizar características de DVB-T2, se logra que este nuevo estándar tenga capacidades superiores a nivel de capa física y MAC, contando con 27 modos de operación definidos por el máximo número de portadoras usadas, en comparación con los 6 modos con lo que trabaja DVB-RCT.

## REFERENCIAS

- Conatel (2012): "Resolución RTV-38-02-CONATEL-2012". Disponible en [http://www.arctel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/rtv\\_38\\_02\\_conatel\\_2012.pdf](http://www.arctel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/rtv_38_02_conatel_2012.pdf). Consultado el 21 de abril de 2016.
- Conartel (2001): "Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales" (Resolución No.1779-CONARTEL-01). Disponible en <http://www.arctel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>. Consultado el 30 de abril de 2016.
- Cruz, D.; Olmedo, G.; León, R. (2011): "Análisis de disponibilidad de espectro radioeléctrico para la transición de Televisión Analógica a Televisión Digital Terrestre en el Ecuador". Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4517/1/T-ESPE-032713.pdf>. Consultado el 05 de mayo de 2016.
- De Carvalho, A.; Lira, P. (2011): "Performance Evaluation of the DVB-RCT Standard for Interactive Services", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 57, n<sup>o</sup>.4, pp. 840-855.
- ETSI. (2002): "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction Channel for Digital Terrestrial Television (RCT) incorporating Multiple Access OFDM, ETSI EN 301 958 DVB-RCT standard v1.1.1". Disponible en [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/301900\\_301999/301958/01.01.01\\_60/en\\_301958v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301900_301999/301958/01.01.01_60/en_301958v010101p.pdf). Consultado el 11 de noviembre de 2015.
- Fraile, F.; Gómez, D. (2004): "On the Capability of DVB-RCT to provide Interactive Services", Department of Technology, Gävle, University of Gävle, Suecia.

- UNIANDES EPISTEME: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación.  
 Radicelli García, C.D., Pomboza Floril, M. del R., Pomboza Floril, C.A.  
 Vol. (3). Núm. (3) 2016
- Gómez, D.; López, J.; Cardona, N.; Gutierrez, E. (2013): "Funcionalidades avanzadas de DVB-T2 para el diseño de redes de televisión digital terrestre en Latinoamérica", *Hologramática*, vol.19, nº. 4, pp.6-19.
- ITU. (2010): "Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Telecomunicaciones/TIC de 2010: Verificación de los objetivos de la CMSI, Examen Intermedio, Resumen Ejecutivo". Disponible en [https://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/wtdr\\_10/material/WTDR2010\\_ExecSum-es.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/wtdr_10/material/WTDR2010_ExecSum-es.pdf). Consultado el 13 de junio de 2016.
- Kholod, A.; Lewis, J. (2010): "El dividendo digital: oportunidades y retos". Disponible en <http://www.itu.int/net/itunews/issues/2010/01/27-es.aspx>. Consultado el 11 de marzo de 2016.
- Miniwatts Marketing Group. (2012): "Internet Worlds Stats Usage and Population Statistics". Disponible en: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>. Consultado el 17 de junio de 2016.
- Pinzón, G. (2013): "Primera fase de optimización de la red de televisión digital terrestre en Colombia con el nuevo estándar DVB-T2", iTEAM, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Rojas, P. (2012): "La Televisión Digital Terrestre y su incidencia en las estaciones televisivas ecuatorianas". Disponible en <http://www.advicom.ec/userFiles/files/Publicaciones/La%20TDT%20y%20su%20incidencia%20en%20las%20estaciones%20televisivas%20ecuatorianas-ADVCOM-PRV-FINAL%20%2826-Marzo-2012%29.pdf>. Consultado el 21 de mayo de 2015.
- Ruiz, J. (2006): "802.16 vs. WiMAX", *Tendencias*, nº 156, pp. 62-65.
- UNESCO, Conferencia General 36ª Reunión, 36C/54. (2011): "Reflexión y Análisis sobre Internet". Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002110/211062s.pdf>. Consultado el 10 de junio de 2016.